

Aparato para la medición del efecto Hall y la resistividad de metales y aleaciones en forma de películas delgadas

Alejandro Sáenz Ramírez

Escuela de Física, Universidad de Costa Rica

(recibido el 9 de febrero de 1987; aceptado el 2 de septiembre de 1987)

Resumen. Se describe un aparato diseñado para efectuar mediciones de efecto Hall en películas delgadas metálicas, que permite eliminar o minimizar otros efectos productores de diferencias de potencial; permite también la obtención de la resistividad de la muestra. Ambos parámetros pueden medirse como función de la temperatura. Se menciona el proceso de obtención de la muestra.

PACS: 07.90.+c; 73.60.Dt; 73.90.+f

1. Introducción

El presente trabajo describe el diseño y puesta en operación de un aparato elaborado para la medición precisa del efecto Hall en películas metálicas delgadas. Es sabido que al efectuar tales medidas se presentan otros efectos productores de diferencias de potencial que hacen imprecisa la medición; sobre todo esto es crítico para ciertos elementos y aleaciones cuyo coeficiente de Hall R_H es muy pequeño, del orden de 10^{-11} m³/AS, puesto que esas otras diferencias de potencial pueden llegar a ser del orden de la diferencia de potencial de Hall, o aun mayores,

Las mediciones se hacen en muestras evaporadas sobre un sustrato de vidrio (cubre objetos), a través de una mascarilla opaca, que determina tanto las dimensiones y la forma de la muestra, así como las dimensiones y posiciones de los contactos.

Para la determinación precisa de R_H , el coeficiente de Hall, se han considerado como fuentes de imprecisión las provenientes de los factores geométricos de la muestra y los contactos, de la falta de homogeneidad en el campo magnético utilizado y, sobre todo, las provenientes de efectos termomagnéticos presentes cuando fluyen corrientes eléctricas y térmicas en presencia de campos magnéticos.

2. Diseño de las muestras y del aparato

a) Factores geométricos

i. Contactos para corriente. Desde hace muchos años se sabe que el voltaje transversal en la muestra se debe al efecto Hall y a las corrientes transversales presentes (posteriormente se considerarán otros efectos). Estas corrientes transversales son provocadas por el corto circuito en los contactos de corriente (I_1 e I_2 en la Fig. 1) y su influencia depende fuertemente de la razón largo a ancho de las muestras.

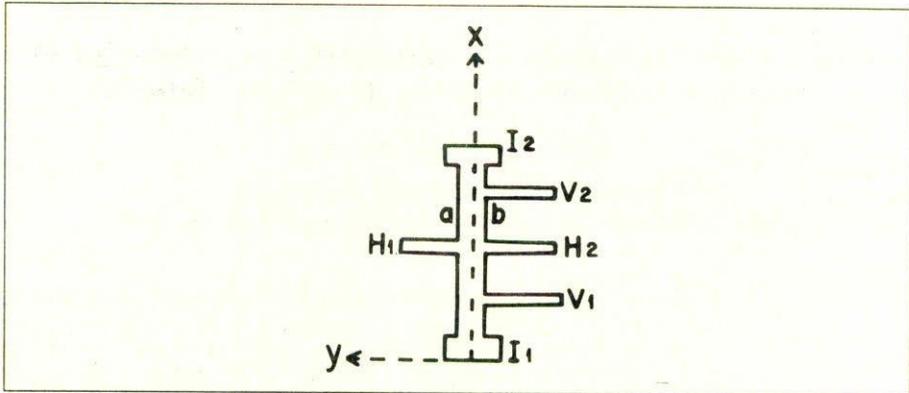


FIGURA 1. I_i : contactos de corriente; V_i : contactos para medición de resistividad; H_i : contactos para determinación del voltaje de Hall.

Isenberg *et al.* [1] estudiaron este efecto en detalle, y concluyeron que para razones largo a ancho de 5.5 o mayores, no se produce error de importancia. Nuestras muestras presentan una razón largo a ancho de 25 por lo que este tipo de error se considera despreciable.

ii. Contactos de medición. La presencia de las cintas conductoras H_1 y H_2 (Fig. 1) produce una distorsión en la distribución de las líneas de corriente en la muestra, y cualquier variación en el espesor del contacto (unión de esas cintas conductoras con la muestra propiamente dicha), produce un error sistemático en la determinación de R_H , a menos que pueda ser determinado con igual precisión que el espesor de la muestra. Por otro lado, si los contactos presentan igual espesor que la muestra, el disturbio en la distribución de la corriente no produce error sistemático en R_H [2]. Ahora, $V_y = R_H B J_x + \int \rho J_y dy$, pero de acuerdo con (i) despreciamos el segundo sumando, por lo que tenemos que el voltaje de Hall (V_H) será el mismo entre a y b que entre H_1 y H_2 . Estas cintas pueden hacerse bastante largas para hacer despreciable el efecto de cualquier soldadura en H_1 y H_2 sobre el voltaje de Hall medido. Hurd [3] recomendó una razón largo a ancho para las cintas de contacto de 1.9, puesto que induciría errores menores al 0.2%. En nuestros experimentos utilizamos pintura de plata para fijar los alambres, pero las razones largo a ancho de las cintas de contacto son siempre mayores que 8. Precauciones idénticas se toman para las cintas V_1 y V_2 (Fig. 1), útiles para medir la caída de potencial longitudinal y de ella determinar la resistividad. Estas cuatro cintas se obtienen mediante ranuras de 0.2 mm de ancho en la mascarilla, cortadas con fresadora. Esto disminuye problemas de localización de H_1 y H_2 , causantes de la diferencia de potencial por desalineamiento IR, y además reducen el error al determinar la distancia entre contactos para la medida de la resistividad, debido a lo delgado de las mismas.

b) *El campo magnético y su homogeneidad*

De acuerdo con mediciones efectuadas en la zona donde se coloca la muestra, entre las caras polares del imán utilizado, se tiene una variación menor al 0.2% en una extensión de 5 cm alrededor del centro. La longitud de la muestra es de 2.5 cm y en esa extensión no son medibles las variaciones del campo magnético. En el trabajo de Koppe y Bryan [4] citado por Hurd [3] se obtiene un factor de corrección de 0.8 cuando el campo decae a la mitad en un largo igual a la mitad del ancho de la muestra, de modo que en nuestro caso este factor de corrección es prácticamente 1, y el error mucho menor que 0.1%; consideraremos esta última cifra en nuestros cálculos.

c) *Efectos termomagnéticos*

La existencia de varias fuentes de diferencia de potencial debidas a efectos termomagnéticos es muy conocida; estos deben eliminarse o minimizarse, puesto que algunos de ellos pueden alcanzar magnitudes similares a las del voltaje de Hall mismo [3,5].

i. Efecto Ettingshausen. El efecto Ettingshausen consiste en un gradiente de temperatura que se presenta al someter una corriente a un campo magnético perpendicular a ella. Depende del sentido de dirección tanto de la corriente como del campo B .

ii. Efecto Nernst. Este consiste en la aparición de un gradiente de potencial en la dirección y cuando fluye una corriente térmica en la dirección x , en presencia de un campo magnético a lo largo del eje z . Su signo se invierte al invertir el campo magnético.

iii. Efecto Righi-Leduc. El efecto Righi-Leduc produce un gradiente de temperatura a lo largo del eje y cuando fluye una corriente térmica en la dirección x bajo la influencia de un campo magnético en la dirección z . Sólo depende de B .

El aparato que se describe, (Fig. 2) presenta un bloque de alta conductividad térmica (Cu) y gran masa en contacto térmico con la muestra, pero aislado eléctricamente por una delgada capa dieléctrica, hemos usado mica o una película dieléctrica evaporada sobre las muestras. Esto asegura homogeneidad térmica en toda la extensión de la muestra debido a la poca masa de la misma.

Al minimizar la posible existencia de gradientes térmicos, se minimizan los efectos anteriormente mencionados a grado tal de hacerse despreciables.

Como una precaución extra para minimizar el efecto Ettingshausen, se ha recomendado [3] emplear contactos del mismo material, esto se hace como se dijo en el inciso (a), punto (ii). Además, los cables de medición están anclados térmicamente a una masa de cobre bajo la influencia del campo magnético.

Finalmente, se ha empleado el método de inversiones de corriente y de campo magnético [6] para eliminar cualquier diferencia de potencial medible que aún estuviese presente por estos efectos.

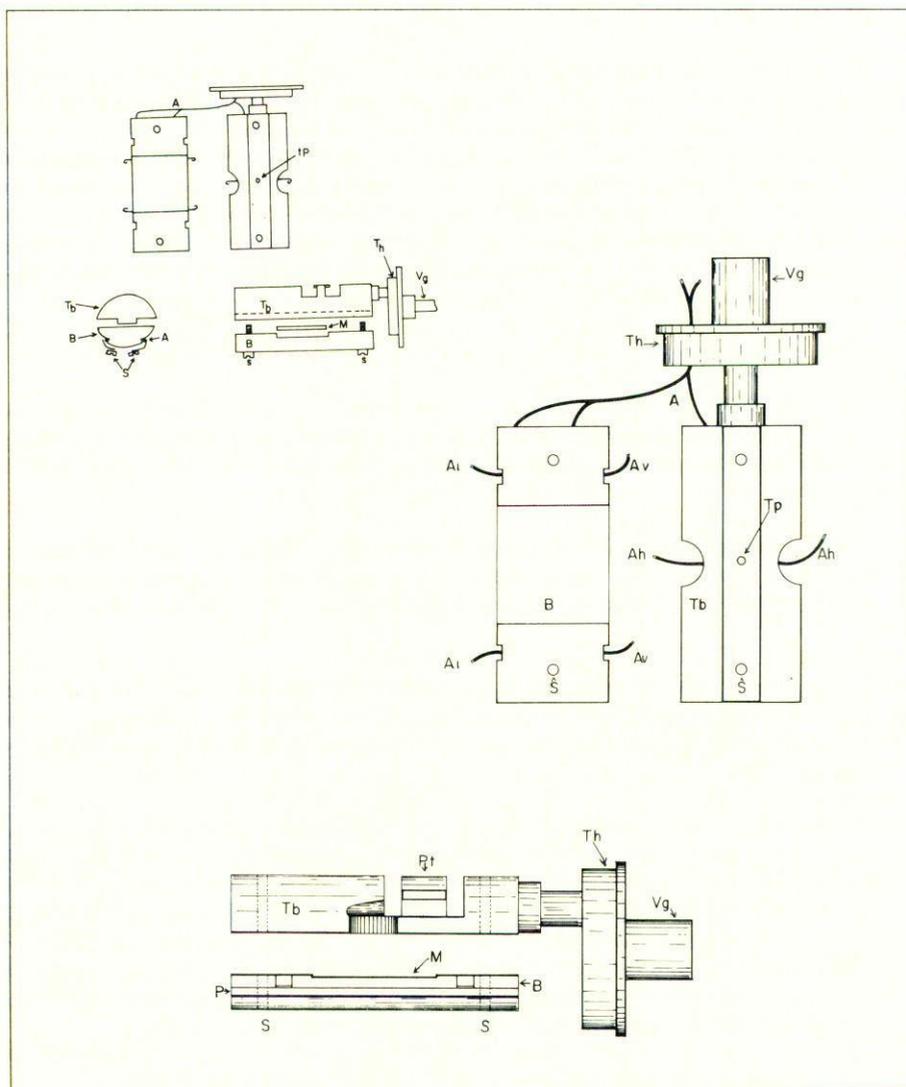


FIGURA 2. A: alambres para los contactos (salen torcidos en pares) y termopar; Ai: contactos para corriente; Av: contactos para determinar la resistividad; Ah: contactos para voltaje de Hall; B: bloque de cobre con muesca para sustrato y muestra M; P: lámina de cobre que prensa alambres en contacto térmico con bloque B; S: tornillos de bronce que unen ambas partes del portamuestras; Tb: tapa de cobre con poste térmico para los contactos de Hall Pt; Th: tapa del horno; Tp: agujero que atraviesa Tb para que el termopar quede en contacto con la muestra; Vg: varilla de vidrio.

d) *Control de temperatura*

La muestra montada en el aparato ya descrito se introduce en un horno de alambre enrollado no inductivamente en una hélice torneada en un cilindro hueco de Al, esto permite variar la temperatura como función de la corriente.

Esta temperatura se determina mediante un termopar en contacto con el portamuestras. Las mediciones se efectúan después de haber alcanzado estabilidad térmica no menor a 0.1°K durante todo el intervalo de medición.

Todo el sistema se introduce en un tubo de vidrio al que se le hace vacío; éste a su vez se introduce en un "Dewar" con nitrógeno líquido. De esta manera logramos variar la temperatura desde unos 80°K hasta más de 300°K , con gran estabilidad térmica para cada una de las medidas efectuadas.

e) *Dimensiones de las muestras*

El ancho de las muestras, así como la separación entre los electrodos V_1 y V_2 , Fig. 1, se determinaron mediante un "microscopio viajero", con precisión de micras. Se efectúan varias medidas para eliminar errores sistemáticos. El espesor de las muestras se determina mediante un medidor de gruesos de cristal oscilante, con precisión en el orden del Angstrom.

f) *Mediciones eléctricas*

Se utiliza una fuente de corriente estabilizada muy precisa (Keithley 227), y la corriente se mide con un amperímetro (HP 3468A) cuyas especificaciones indican errores máximos de 0.08%.

El error en la diferencia de potencial de Hall lo determina tanto la precisión del nanovoltímetro empleado (Keithley 147), como por el error a estimarse debido a las fluctuaciones de la aguja durante la medición, cuya causa principal son las variaciones térmicas; este es del orden de 5 nV o menor. Por ser este voltaje función de la temperatura como de la muestra específica (espesor, material, etc.) el error porcentual es también particular a cada medida.

Al hacer un cálculo por propagación de errores considerando R_H como función de la corriente, el espesor, el campo y la diferencia de potencial, se obtienen errores relativos menores al 4%.

En cada medición se obtiene la resistividad midiendo la caída de potencial entre V_1 y V_2 .

Conclusión

El aparato descrito permite efectuar medidas muy precisas de la constante de Hall en películas delgadas, aún para metales cuyo coeficiente de Hall es muy bajo ($10^{-11} \text{Vm}^2/\text{N}$).

Este aparato puede ser fácilmente fabricado en cualquier taller de precisión y, con pequeñas modificaciones, puede también usarse para muestras trabajadas en frío.

El mismo ha sido exitosamente empleado por varios estudiantes para sus trabajos de tesis, así como en otras investigaciones.

Referencias

1. Isenberg, Russel y Greene, *Rev. Sci. Instrum.* **19** (1948) 685.
2. A.C. Beer, *Solid State Physics, Suppl. 4*.
3. C.M. Hurd, *J. Sci. Instrum.* **42** (1965) 465.
4. H. Koppe y J.M. Bryan, *Canad. J. Phys.* **29** (1951) 274.
5. O. Lindberg, *Proceedings of the IRE* (nov 1952) 1414
6. A. Sáenz, *Trans. Royal Inst. Technology, FYS 5032* (1975).

Abstract. We describe an apparatus designed for Hall Effect measurements in metal thin films. It enables the experimenter to eliminate or minimize other effects which produce potential drops. It also allows the measurement of the resistivity of the sample. Both parameters might be obtained as a temperature function. We mention the process to obtain the sample.